REVUE FORESTIÈRE FRANÇAISE

1956 JANVIER N° 1

Dans ce numéro: H. MESNIL: De l'évolution des techniques routières en forêt de Compiègne. — Ph. DUCHAUFOUR: La pédologie forestière, science complexe ,mais science féconde. — J. PARDÉ: A propos du hêtre de Valbonne, relique glaciaire ou plantation de moines? — R. VIBERT: Importance de la pêche et de la pisciculture dans les eaux intérieures sur le plan mondial. — A. MÉTRO: Mission à Téhéran.

DE L'ÉVOLUTION DES TECHNIQUES ROUTIÈRES EN FORÊT DE COMPIÈGNE

Depuis vingt ans, les techniques routières ont considérablement évolué. De nouveaux procédés sont nés, en particulier pendant la Guerre, c'est-à-dire à une époque où est apparue la nécessité de transformer rapidement les sols pour en faire des pistes d'envol ou des voies stratégiques d'utilisation immédiate. Ces nouvelles techniques — notamment celle de la stabilisation — sont applicables à des routes secondaires devant être construites ou remises en état de manière économique.

Les lignes qui vont suivre ont pour but de montrer comment le Service Forestier s'est efforcé de suivre cette évolution et de l'adapter à la réfection des routes d'un de nos plus grands massifs domaniaux comptant parmi les mieux desservis. La Forêt de Compiègne (14 500 ha) a été, en effet, dotée par la monarchie d'un réseau routier d'un extraordinaire développement. Elle est traversée par quatre-vingts (80) kilomètres de route du domaine public ; sept cents (700) kilomètres de chemins de terre et quatre-vingt-six (86) kilomèètres de routes empierrées appartenant au domaine privé la sillonnent en tous sens.

La remise en état et l'entretien d'un tel réseau posent des problèmes financiers difficilement surmontables. Il faut constamment rechercher dans la technique des solutions permettant d'assurer les travaux de cette nature à moindre prix. Parallèlement, il faut mettre à la disposition des usagers des routes capables de supporter un trafic de camions, de tracteurs avec remorques ou semi-remorques dont le tonnage est de plus en plus élevé et une circulation de voitures de tourisme dont le nombre et la vitesse augmentent sans cesse.

TRAVAUX RÉALISÉS AVANT LA GUERRE 1939-1945

Macadam revêtu d'un tapis hydrocarboné

Lors de l'ouverture des Grands Travaux contre le chômage en 1937, le Service Forestier local, sous l'impulsion de M. HURTEAU, alors Inspecteur, et de son Adjoint, M. TERRIER, se fixe pour tâche l'amélioration des chemins empierrés construits suivant le procédé classique du hérisson revêtu d'un empierrement constitué par une couche de pierres cassées à l'anneau de 9, avec addition d'eau et de sable argileux (macadam). Dans une telle route, la cohésion des éléments est faible. Elle est liée à une teneur en eau incluse favorable ; dans nos régions, un macadam ne résiste pas à une circulation de quelque importance. L'usure devient très vite anormale, surtout en période humide ou très sèche, le débardage d'une coupe, une saison de tourisme et surtout une saison de chasse à courre avec le cortège de voitures que la chose implique, suffisant à détruire le meilleur des macadams. On doit constamment réparer flaches et nids de poule. Les dépenses entraînées par cet entretien deviennent élevées pour un résultat toujours très médiocre.

Le programme de réfection porte alors sur les chaussées soumises, non seulement à un trafic important, mais aussi à une circulation touristique intense. Ce choix judicieux est fondé sur l'espoir légitime d'obtenir, dans un délai plus ou moins proche, le classement de ces chemins dans la voirie départementale ou municipale. Trente (30) kilomètres de routes sont refaits par les méthodes classiques (macadam) et aussitôt revêtues d'un tapis goudronné, ce qui consiste à répandre au mètre carré 1,4 kg de goudron fluide et immédiatement après 12 litres de gravillon 5/15, de préférence calcaire, et à cylindrer au rouleau lisse de sept tonnes.

Les chaussées ainsi traitées ont bien résisté à l'épreuve de la Guerre, notamment au trafic militaire considérable de 1944-1945. Elles ont fait l'objet d'un enduit secondaire au titre A.F.A. (1) en 1946-1947. Vingt-cinq (25) kilomètres de ces voies sont maintenant entretenus par le Service des Ponts et Chaussées, pour le compte des collectivités publiques.

TRAVAUX RÉALISÉS APRÈS LA GUERRE 1939-1945

La semi-pénétration

En 1948, le programme de réfection des routes empierrées est repris, en adoptant la technique de la semi-pénétration. Après plusieurs tâtonnements, nous nous sommes arrêtés à la méthode suivante différant quelque peu de celle décrite dans les ouvrages :

A la fin du cylindrage de l'empierrement (cylindrage fait tou-

(1) Aide aux Forces Alliées.

jours par temps humide ou à l'eau), on répand au mètre carré 5 litres de sable graveleux 0-20, ce qui permet de fermer la mosaïque et, partant, de diminuer la consommation de liant. On donne un léger coup de balai mécanique et on procède à un premier répandage de 3 kg d'émulsion de bitume, ou mieux, de « Glu » (2), et de 10 litres de gravillon au mètre carré. On cylindre au rouleau lisse de sept tonnes. Deux mois après, on exécute un deuxième répandage à raison de 1,2 kg de goudron liquide et de 10 litres de gravillon au mètre carré. On peut attendre un an et même plus pour l'exécution d'un tapis superficiel. Quatorze (14) kilomètres de route ont été ainsi refaits, dont cinq (5) kilomètres sont maintenant entretenus par le département

Emploi des dopes

Depuis l'an dernier, les marchés de revêtement contiennent une clause mettant l'entreprise dans l'obligation de pulvériser sur le liant répandu, et avant gravillonnage, un « dope » dilué (Shell Sap ou Aged), la dose étant fixée à 1,50 % du poids du liant pur. Ce dope a pour but d'améliorer :

— La mouillabilité des agrégats par le liant ;
— L'adhésivité du couple liant-agrégats ;
— Et. ultérieurement, la rigidité du liant fixé sur les agrégats.

Sur les routes forestières ombragées et humides, l'adjonction d'un tel dope constitue une garantie fort importante du succès du revêtement. Le coût de l'opération est faible, de l'ordre de deux (2) francs au mètre carré.

Amélioration des chemins de terre
Stabilisation par compactage

Au printemps 1952, il est procédé, avec le Génie Militaire, à un essai de stabilisation par compactage sur les Routes Forestières du Carnois et de la Mariolle. Ces chaussées en sol naturel, d'un développement de 5 km et d'une largeur moyenne de 15 mètres, présentaient un profil ondulé, scarifié par de larges et profondes ornières dues au passage des grumiers. Une section de 300 mètres en terrain marécageux était impropre à tout passage de véhicule. L'analyse physique du sol, l'examen des courbes granulométriques (Graphique 1) et leur comparaison avec les courbes limites de Talbot, permettent de constater que ce sol contient de fortes proportions d'éléments sableux gros et moyens, et qu'il s'éloigne sensiblement de la courbe-type. Il faut nécessairement l'améliorer. Dans ce but, on est conduit à prospecter les alluvions quaternaires des vallées de l'Oise et de l'Aisne où l'on trouve plusieurs gravières exploitées au XIX^{e} siècle par la Compagnie des Chemins de Fer du Nord pour la

(2) Produit de la Société A.G.E.D.

constitution de l'infrastructure des ballasts des lignes traversant ou enveloppant la forêt.

L'étude du matériau tout-venant extrait de la gravière de La-Croix-Saint-Ouen, sise en Forêt de Compiègne, XI[e] Série, porte sur les éléments figurant au Tableau I.

TABLEAU I

Poids spécifique		2,67
Granulométrie : % en poids inférieurs à :		
2″	30,8 mm	99
1″	25,4	77
1/2″	12,7	48
N° 4	4,76	32
N° 10	2,00	24
N° 40	0,42	14
N° 200	0,074	3
inférieurs à 20 microns		2
inférieurs à 5 microns		traces
Limites d'Atterberg :		
Limite de liquidité		20
Limite de plasticité		ND
Indice de plasticité		NP
Densité Proctor normal		1,77
Teneur en eau optimum		13,5
Densité Proctor modifié		2,02
Teneur en eau optimum		8,5
Perméabilité K en cm/sec		$1{,}5 \times 10^{-5}$
Kh en cm^2/h		0,201
h = Kh : K en cm		3,7
Indice de gélivité G en cm/h		$6{,}2 \times 10^{-4}$
Indice CBR à : 55 coups	ds	2,00
	CBR	150
25 coups	ds	1,94
	CBR	90
10 coups	ds	1,88
	CBR	40
C.B.R. à 95 % ds modifié		76

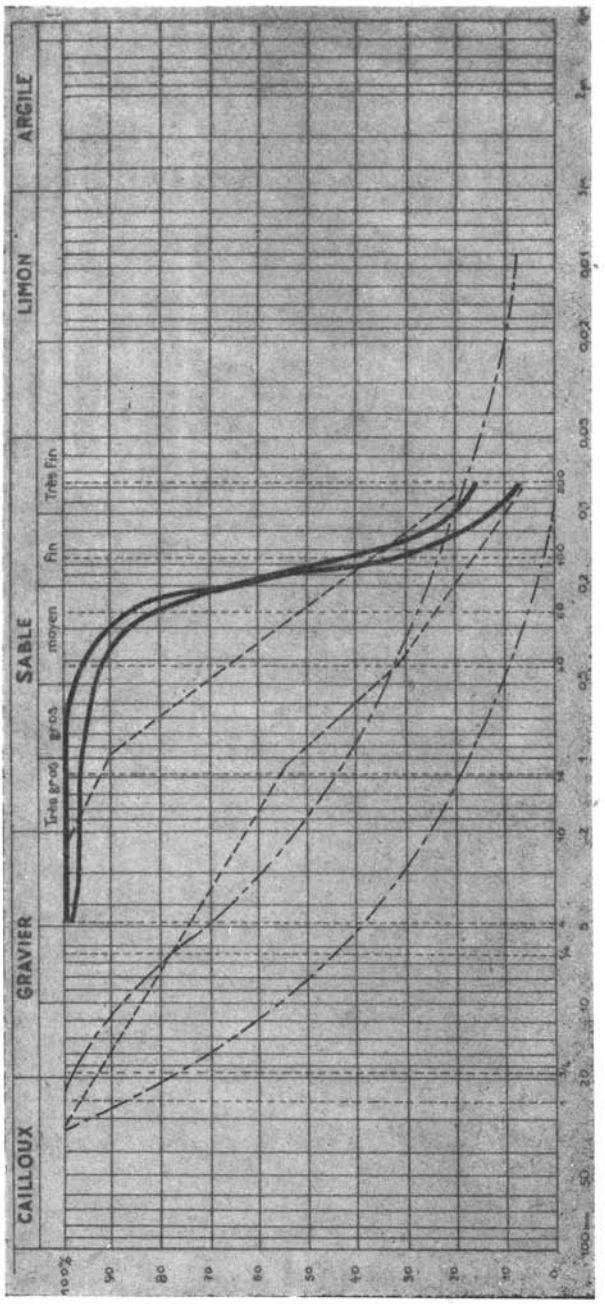
ND = non déterminable NP = non plastique

Labo. Solfor.

Pour la compréhension de ce tableau, nous croyons utile de rappeler succinctement quelques notions et méthodes employées :

Poids spécifique : C'est le poids, par unité de volume, du matériau sec considéré sans vide :

Granulométrie : L'analyse granulométrique est effectuée par la méthode « à voie humide », en utilisant une série de tamis à mailles carrées, et par sédimentométrie. Les résultats exprimés en pourcentage du poids sec sont reportés sur un graphique où figure, en abscisse, à l'échelle logarithmique, la dimension des grains, et en ordonnée le pourcentage des grains dont les dimensions sont inférieures ou égales à l'abscisse correspondante.



Graphique 1.

Provenance : Route du Carnois.
Profondeur : 0 m à 0,20 m.
Sondages 3 et 4
Labo. Génie de l'Air.

Limites d'Atterberg: La limite de liquidité (LL) est la teneur en eau qui sépare l'état liquide, ou semi-liquide du matériau, de l'état plastique.

La limite de plasticité (LP) sépare l'état plastique du matériau de l'état solide. A une teneur en eau inférieure à LP, le matériau ne subit plus de déformations plastiques, perd sa cohésion partiellement et devient friable.

L'indice de plasticité (IP) est la différence des deux limites caractérisant ainsi le domaine de comportement plastique du matériau. Plus IP est élevé, plus le matériau est plastique.

Densité Proctor normal: C'est la densité sèche maximum déterminée selon un essai de compactage dynamique portant sur la fraction du matériau inférieure au tamis n° 4 (4,76 mm) dans un moule de 0,945 lt. L'outil de compactage est une dame pesant 2,495 kg qu'on laisse tomber en chute libre de 0,305 m, 25 foits sur chacune des trois couches. L'énergie mise en œuvre au cours de cet essai est de 60,420 kg/m³. La densité sèche maximum est liée à une teneur en eau appelée teneur en eau optimum.

Densité Proctor modifié: Il s'agit également d'un essai de compactage dynamique conduit sur des données numériques différentes.

Perméabilité K: On détermine le coefficient K selon une méthode fixée par le Laboratoire de Recherches d'Ohio (juillet 1950). L'étude porte sur la fraction du matériau inférieure à 4,76 mm compactée à la densité Proctor, ce qui permet de pouvoir comparer les résultats entre eux.

Remontée capillaire Kh: On examine toujours la fraction du matériau inférieure à 4,76 mm compactée à la densité Proctor dans un moule cylindrique de 10 cm de diamètre et de 30 cm de hauteur. Après dessèchement à l'étuve, le sol est soumis à la saturation par remontée capillaire du bas de l'échantillon. L'absorption d'eau (cm³) est observée en fonction du temps t et ces deux séries de valeurs portées sur un graphique où l'abscisse représente le temps t en échelle logarithmique et l'ordonnée l'absorption d'eau en cm³.

Le coefficient Kh se calcule à partir de l'équation suivante:

$$Q = S \sqrt{2\,Kh\,n\,t}$$

où:

Q = cm³ d'eau absorbés;
S = surface de l'échantillon;
K = coefficient de perméabilité;
h = hauteur de remontée capillaire;
n = rapport des vides;
t = temps en heures.

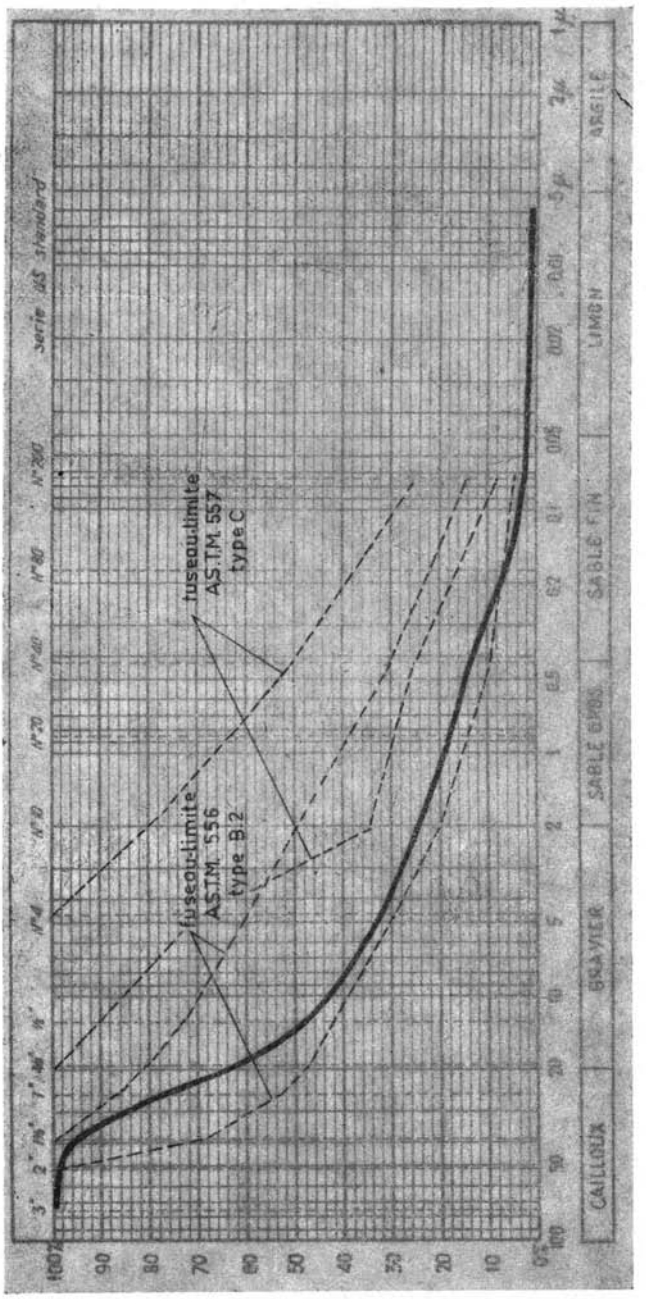
Indice de gélivité intrinsèque du sol G: Cet indice est défini par M. PELTIER, Sous-Directeur du Laboratoire des Ponts et Chaussées, comme suit:

$$G = \frac{Kh \times n}{h + h_0}$$

où h_0 est une constante.

Indice portant californien CBR: L'indice C.B.R. est un nombre exprimant la résistance d'un sol par rapport à un sol-type. La détermination du CBR se fait selon la technique suivante:

La fraction du matériau inférieure à 19,1 mm est compactée dans des moules CBR à la teneur en eau optimum. Une première carotte est comprimée à raison de 55 coups par couche (5 couches) de la dame de 4,536 kg; une deuxième carotte à raison de 25 coups par couche, et une troisième à raison de 10 coups par couche.



GRAPHIQUE 2.
Matériau : Tout-venant silico-calcaire.
Provenance : La Croix-Saint-Ouen.

Labo. Solfor.

On note alors la densité sèche obtenue pour chacune des carottes. Les essais de poinçonnement CBR sont effectués après 4 jours de saturation par immersion totale. Cette méthode permet l'établissement d'une relation entre la densité sèche d'un matériau et son indice CBR. Les résultats des essais sont reportés sur un graphique avec, en abscisse, la densité sèche ds et en ordonnée, à l'échelle logarithmique, l'indice CBR.

La courbe ainsi tracée permet une interpolation facile de l'indice CBR pour une densité considérée.

De l'examen du tableau I et du graphique 2, on peut conclure que le tout-venant de La-Croix-Saint-Ouen est un matériau silico-calcaire dans lequel les silex sont, en général, de formes anguleuses, tandis que les éléments moyens et fins sont arrondis. La courbe granulométrique du tout-venant a une allure continue et se place bien entre les limites types. Le matériau compacté est peu perméable, mais non capillaire et non gélif. L'indice CBR interpolé pour une densité équivalente à 95 % de la densité Proctor modifié est suffisamment élevé pour rendre le matériau propre à l'utilisation en couche de fondation.

Le tout-venant de La-Croix-Saint-Ouen est donc un excellent matériau de compactage et peut être utilisé judicieusement pour la correction de sols sortant des courbes-types (cas des routes du Carnois et de la Mariolle).

Nanti de ces renseignements, le travail de stabilisation mécanique des dites routes s'est alors déroulé comme suit :

— Décapage sur une profondeur de 5 cm environ de la végétation herbacée et arbustive. Cette opération s'exécute au « scraper ». Les éléments ainsi récupérés sont transportés sur des routes adjacentes pour servir à leur remblai. Le passage du « scraper » provoque une désagrégation du sol rendant inutile une scarification plus poussée à l'aide d'un « Rotary-Tiller » ou d'une charrue à disques ;

— Apport de matériaux correctifs issus de la gravière de La-Croix-Saint-Ouen : cet apport, par suite de la pénurie de moyens de transport, est réduit au minimum. Seule, la section marécageuse en bénéficie ;

— Mélange de ces matériaux et nivellement au « motor-grader » ;

— Essai Proctor fixant le dosage du sol en eau. Lorsque celui-ci se révèle insuffisant, on arrête les travaux pour les reprendre après une période de pluies (on ne disposait pas de tonne à eau) ;

— Compactage à l'aide d'un rouleau à pied de mouton que l'on fait passer jusqu'à ce que les pieds ne s'enfoncent plus ;

— Nivellement au motor-grader ;

— Cylindrage au rouleau à pneus de cinquante tonnes.

Au cours des opérations, on est amené à faire les observations suivantes :

— Plus le matériel est lourd, plus il est efficace; comme l'indique M. BOUTET dans son Cours de Routes, « de grandes roues, de gros pneus, des marteaux de grand diamètre, compactent toujours le sol à des plus grandes profondeurs que s'ils avaient de moindres dimensions » ;

— La vitesse de marche des engins, et spécialement des rouleaux doit être constamment surveillée. Les conducteurs ont tendance à aller trop vite. Or, l'augmentation de la pression et, partant, le ralentissement de la vitesse, augmente la densité et améliore le compactage.

Les chemins ainsi traités ont été aussitôt livrés à la circulation. Ils servent, depuis trois ans, au débardage des bois et au trafic touristique. Ils résistent d'une manière satisfaisante et n'ont subi, jusqu'alors, aucune déformation. Cependant, les travaux ont été exécutés d'une manière incomplète (insuffisance des apports extérieurs) et avec un personnel inexpérimenté qu'il s'agissait précisément d'instruire. Ce facteur, du reste, n'a pas permis de suivre un planing rigoureux et, de ce fait, on n'a pu établir aucun prix de revient. Précisons seulement que le Service Forestier n'a engagé dans cette affaire dont il a eu tout le bénéfice, ni matériel, ni crédits.

Dans le même temps, on procède à une remise en état de nombreux chemins de terre: on apporte des matériaux tout-venant que l'on répand dans les ornières et les trous les plus importants; le compactage est assuré par la circulation des véhicules à pneus.

Essai d'un enrobé fabriqué à partir du tout-venant de La-Croix

En 1954, les caractéristiques du tout-venant silico-calcaire de La-Croix-Saint-Ouen conduisent l'Administration des Ponts et Chaussées à penser que ce matériaux serait susceptible de fournir sur place un enrobé à bas prix. En tout état de cause on économiserait des frais de transport particulièrement onéreux.

Cet enrobé pourrait être utilisé pour la constitution des sous-couches (binder) destinées à recevoir une couche supérieure de roulement, voire même pour la constitution de cette dernière couche.

On procède alors à une nouvelle étude géotechnique sur du tout-venant concassé partiellement de façon à obtenir une granulométrie 0-20 mm. Cette étude donne les résultats consignés dans le Tableau 2.

Le graphique 3 donne la courbe granulométrique.

Le tableau renvoie aux mêmes notions que celles de l'étude du tout-venant (tableau 1) à laquelle vient s'ajouter la notion d'équivalent de sable.

Equivalent de sable: L'équivalent de sable ES est le rapport du volume de l'argile et de certaines particules fines contenu dans le matériau (fraction inférieure à 5 mm) et du volume des éléments sableux au bout d'un certain laps de temps.

L'équivalent de sable exprimé en pourcentage (0 à 100) mesure donc l'effet combiné de la quantité d'argile ou des particules fines contenues dans le matériau et de l'importance de sa plasticité. Plus ES est élevé, moins le matériau est riche en argile. Un sable propre à un ES égal à 100. Une argile, par contre, a un ES voisin de zéro.

Au cas présent, ES est de 31, ce qui, à l'époque, paraît donner des garanties suffisantes quant au comportement du matériau vis-à-vis de l'action de l'eau.

La courbe granulométrique indique une bonne concordance avec la norme concernant les matériaux stabilisés pour couches de surface. La densité Proctor modifié est assez élevée, ce qui qualifie favorablement la granulation.

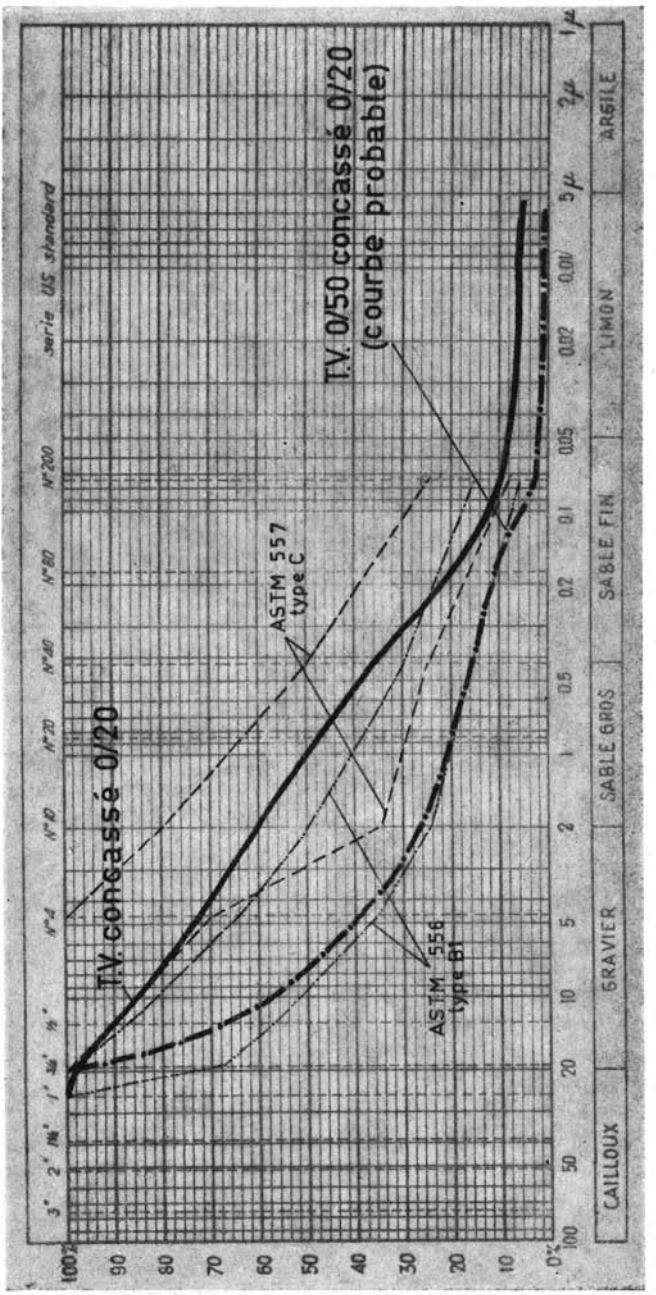
Au surplus, le tout-venant s'enrobe facilement à chaud (120°), avec un dosage de 5,50 % de bitume 180/200 et 1 % de chaux. La résistance, au bout de 24 heures à l'air, est de 68 kg par cm². Elle tombe à 36 kg/cm² après 7 jours dans l'eau. L'imbibition est alors de 5,8 %. La densité s'élève à 2,04.

Nanti de ces renseignements, on passe à l'exécution. L'enrobé est transporté, dès fabrication, sur les lieux d'emploi dans des camions bâchés pour être immédiatement mis en œuvre (au bout de deux heures, notamment par temps froid, l'enrobé fait prise et doit être rejeté).

TABLEAU 2.

Granulométrie: % en poids inférieur aux mailles carrées de:		
3/4"	19,1 mm	98
1/2"	12,7 mm	90
N° 4	4,76 mm	72
N° 10	2,00 mm	60
N° 40	0,42 mm	36
N° 200	0,074 mm	10
inférieur à 20 microns		7
inférieur à 5 microns		5
Limites d'Atterberg:		
Limite de liquidité		18
Limite de plasticité		15
Indice de plasticité		3
Equivalent de sable		31
Densité Proctor modifié		2,05
Teneur en eau optimum		9,0

Labo. Solfor.



GRAPHIQUE 3
Matériau : Tout-venant concassé 0/20.
Provenance : La Croix-Saint-Ouen.

Labo Solfor.

Nous avons utilisé plusieurs centaines de tonnes de ce produit pour l'élargissement et le reprofilage de la Rouge Eugénie qui serpente à travers la célèbre Série Artistique des Beaux-Monts. De chaque côté de la chaussée revêtue, on fait une tranchée, prise sur l'accotement, de 30 cm de largeur sur 25 cm de profondeur. La tranchée est remplie de tout-venant compacté sur une épaisseur de 15 cm surmonté d'une couche de 10 cm d'enrobé immédiatement cylindré au rouleau lisse. On termine par un revêtement sur l'ensemble de la chaussée.

L'enrobé ainsi revêtu et fermé s'est bien comporté. Il n'en a pas toujours été de même; sur l'enrobé en couche de revêtement on a constaté parfois des fissurations dans la masse et même — ce qui est plus grave — un désenrobage systématique.

Les raisons de cet échec semblent être imputables aux faits suivants:

1° *Nature des matériaux:*

— Equivalent de sable faible. Il devrait être, au moins, de 40;

— Imperfection de la granulométrie dénotant un manque de gravillon, et un excès de sable (65 %);

— Caractère trop calcaire du tout-venant: 32 % de CO^3Ca au total, mais 70 % pour la fraction comprise entre 0,5 mm et 10 mm.

Le liant est trop facilement absorbé. En fin de compte, l'enrobé est trop sec et manque de stabilité.

2° *Conditions d'exécution:*

En raison des pluies incessantes d'août 1954, l'humidité des matériaux stockés sur le chantier est demeurée très forte, parfois supérieure à 10 %. Le sécheur de l'appareil de malaxage utilisé était bien incapable de réduire le pourcentage d'eau à 0,5 % comme il eut été souhaitable. Le froid qui sévissait à l'époque a joué également un rôle défavorable.

Dans l'état actuel de la technique, l'essai tenté peut paraître trop audacieux. Il faut se résoudre à abandonner la fabrication d'un enrobé de granulométrie continue à partir du tout-venant de La-Croix.

Dès lors, on songe à un enrobé fabriqué à partir du même tout-venant, non plus à chaud, mais à froid.

Au cours du dernier hiver, nous demandons à un chimiste connu pour ses travaux routiers de procéder à une étude complémentaire de la question. Les résultats sont fort encourageants, à cela près que le prix de revient prévu pour cet enrobé mis en place se trouve être prohibitif, de l'ordre de huit mille (8 000) francs la tonne. La fabrication d'un gros tonnage n'aurait sensiblement pas diminué ce prix.

Utilisation d'un enrobé semi-dense fabriqué à partir de laitier ou de gravillon calcaire

Nous portons alors notre choix sur un revêtement aggloméré à granulométrie discontinue enrobé à chaud par voie sèche, en usine éloignée du lieu d'emploi, ce revêtement devant être mis en place sur une chaussée préalablement scarifiée. remise en forme et cylindrée.

Le marché sur appel d'offres, adressé au printemps dernier à quatre entreprises importantes, fixe les spécifications de cet enrobé semi-dense comme suit:

Qualité de l'enrobé: L'enrobé est du type semi-dense et doit répondre à la formule suivante:

60 % (soixante pour cent) de gavillon 7/17;
20 % (vingt pour cent) de gvavillon 3/7;
20 % (vingt pour cent) de sable 0/3.
Le gravillon est, soit du laitier, soit du calcaire dur.

Laitier:

Le laitier doit provenir exclusivement de coulées de scories en nappes d'au moins 20 cm d'épaisseur. Il doit être compact et son coefficient de qualité, après essais par usure réciproque dans les conditions du Laboratoire des Ponts et Chaussées, ne pas être inférieur à 14 (quatorze).

Le laitier n'est, ni fusant, ni sulfureux, et sa teneur en chaux pas supérieure à 44 % (quarante-quatre pour cent). Son poids spécifique est fixé à 1,70 (un soixante-dix).

Calcaire:

Le calcaire doit répondre aux spécifications prévues par le Cahier des Charges des Ponts et Chaussées, en ce qui concerne, notamment:

— Le contrôle des dimensions!
— L'essai de la qualité;
— Le contrôle de la forme;
— L'essai d'homogénéité;
— L'essai de propreté.

Le liant nécessaire à l'enrobage du laitier doit être, soit à base de bitume, soit à base de goudron.

Bitume:

Le bitume à employer pour l'enrobage est du type Spramex 180/200 ou Mexphalte 80/100. Il doit toujours répondre aux caractéristiques suivantes:

	Spramex 180/200	Mexphalte 80/100
	—	—
Densité à 25° C	1,01-1,04	1,01-1,05
Pénétration du résidu à 25° C	180/200	80/100
Point de ramollissement (anneau et bille) ..	37/43	43/52
Solubilité dans le CS2	99 %	99 %

La détermination de ces caractéristiques doit être opérée suivant les méthodes employées par le Laboratoire des Ponts et Chaussées. En cas de contestation, une analyse effectuée par ce laboratoire fera foi.

Goudron:

Il s'agit de goudron reconstitué obtenu, soit par distillation partielle de goudron brut, soit par réincorporation d'huile dans le brai gras chaud sortant des appareils de distillation.

La proportion de liant dans l'enrobé est, au minimum, de 62 kg (soixante-deux kilos) par tonne.

L'entreprise qui fait les conditions les plus conformes aux intérêts de l'Etat propose un tarmacadam (goudron) fabriqué à Givet (Ardennes), avec un calcaire dur. Le prix de ce tarmacadam s'élève

à	2 656 F la tonne
Le chargement et le fret à ..	914 F la tonne
Soit au total	3 570 F la tonne.

au port-à-bateaux de Compiègne.

Dès lors, l'organisation du chantier est la suivante:

A. — *Préparation de la fondation:*

1° *Ordre des opérations:* Le déroulement des opérations, pour l'exécution d'un tel travail, comprend:

— Le piochage de l'empierrement: Celui-ci s'exécute, soit au motorgrader, soit au cylindre-piocheur, ou mieux, avec les deux appareils.

La profondeur du piochage est réglée de telle manière qu'elle n'atteigne pas la fondation (hérisson). En général, une profondeur de 10 cm suffit.

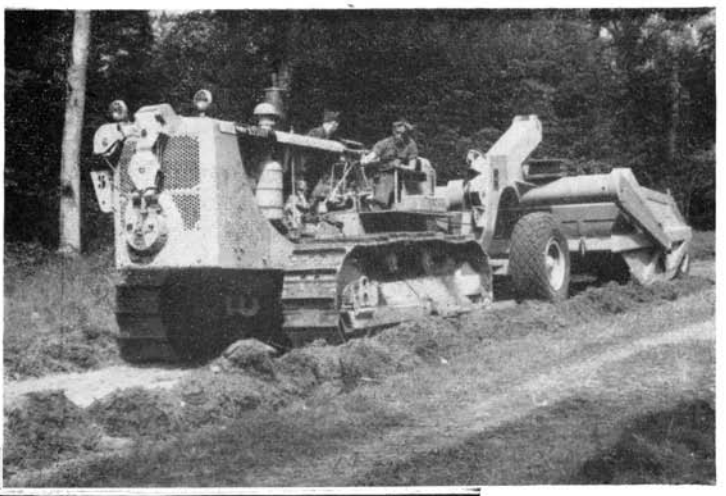
— La reprise des matériaux déposés sur les accotements, opération qui se fait à la grue et au camion.

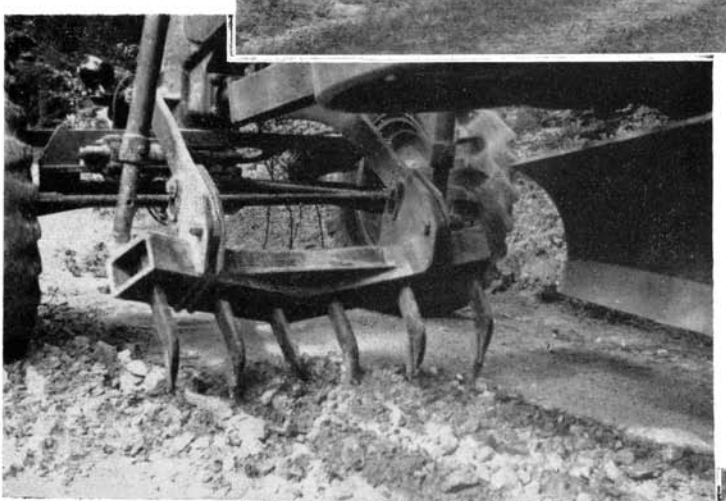
Au cas présent, les matériaux d'apport comprennent, au kilomètre:

50 m³ de pierres qui avaient été déposées sur les accotements depuis plusieurs années pour la réparation des flaches et des nids de poule;

40 m³ de tout-venant 0-40 de La-Croix.

Décapage d'un chemin de terre au Scraper.





Travail des griffes du Motorgrader sur empierrement usé.

Remise en forme d'un chemin de terre au Motorgrader.

(Clichés H. Mesnil.)

Epandage d'un enrobé semi-dense
au moyen du Finisher « Amann » (en haut)
du Finisher « Barber-Greene »
(à droite et en bas)

(Clichés H. Mesnil.)

— La mise en forme de la route et des accotements: cette opération se fait exclusivement au motorgrader. Quatre pasess du motorgrader suffisent pour obtenir un profil excellent.

— Le cylindrage au rouleau de quatorze tonnes: cette opération se fait, soit par temps humide, soit avec apport d'eau. Quatre passes de cylindre donnent un compactage suffisant.

— Travaux complémentaires: Trois manœuvres ont pour mission de reprendre les pierres formant cordon le long de l'accotement, après le passage du motorgrader, de mettre au point le profil définitif de la route en le corrigeant par apport de pierres après les deux premiers passages du cylindre.

2° *Rendement:* Pour un tel chantier, le rendement s'élève à 1 900 m² par journée de huit heures. Le chantier de la Route du Cor, d'une superficie de 7 600 m², commencé le samedi 2 juillet, à 7 h. 30, a été terminé le mercredi 6, à 18 heures.

3° *Main-d'œuvre:* La main-d'œuvre comprend:
1 Chef de Chantier;
1 Conducteur de cylindre:
1 Conducteur de Motorgrader;
1 Grutier;
1 Chauffeur de camion;
3 Manœuvres;
Soit au total, 8 hommes.

B. — *Exécution du revêtement en enrobé semi dense - tarmacadam:*

Il s'agit, au cas particulier, comme nous l'avons dit, de tarmacadam de calcaire fabriqué selon la formule donnée ci-dessus et mis en œuvre à froid, par temps chaud (température supérieure à 20°).

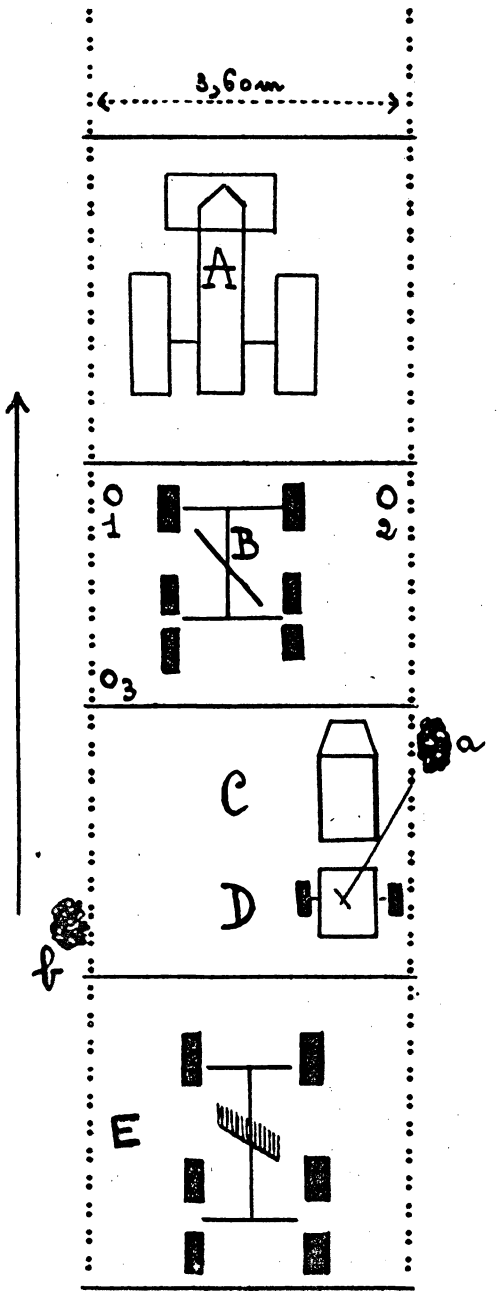
1° *Ordre des opérations:* Le déroulement des opérations, pour l'exécution d'un tel revêtement, comprend, une fois la chaussée préparée:

— Le nettoyage de la chaussée au balai mécanique;

— Le répandage de l'enrobé au répandeur finisher, à raison de 60 kg au mètre carré.

Sur le chantier de la Route des Nymphes, on utilise un finisher Amman de fabrication française, dont la marche est excellente, mais le débit faible.

Sur le chantier de la Route du Cor, on utilise un Barber-Greene d'importation toute récente (c'était même son premier essai). Cet appareil, monté sur deux chenilles, comporte, à l'avant, une trémie d'approvisionnement dans laquelle les matériaux-benne viennent décharger les matériaux enrobés. Ceux-ci sont repris ensuite par un tapis roulant qui les amène à une vis sans fin perpendiculaire à l'axe de la chaussée, assurant le répandage.



Chaussée préparée,
prête à recevoir l'enrobé.

Cylindrage

A — Rouleau 3 roues de 14 tonnes.
1 conducteur.
1 chef de chantier.

Mise en forme

B — Motorgrader.
1 conducteur.
1-2-3 Aides.

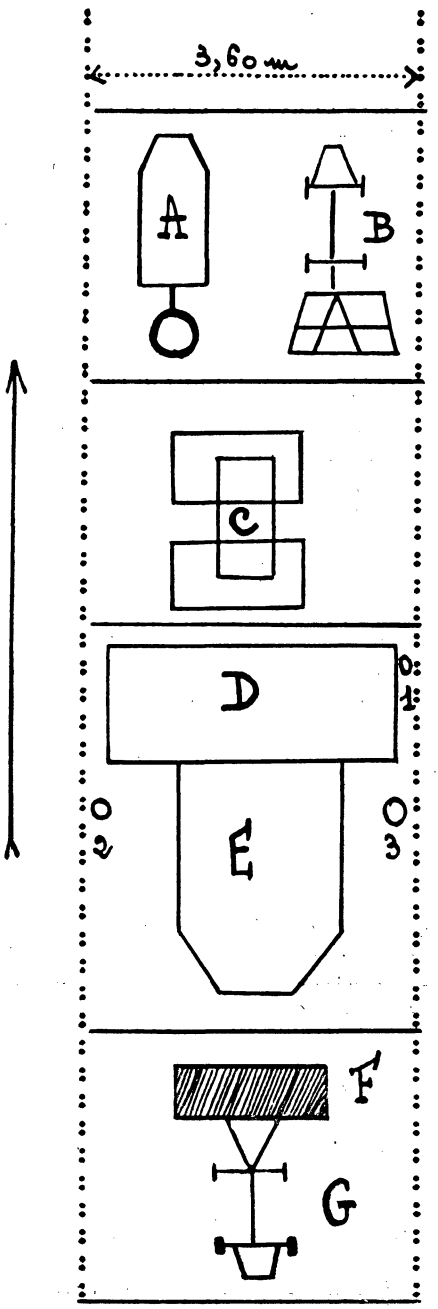
Reprise des matériaux à la grue.

C — Camion
D — Grue
a — Stock de pierres
b — Stock de sable.
1 chauffeur.
1 grutier.

Piochage de l'empierrement

au motorgrader ou
au cylindre piocheur.
E — Motorgrader.
1 conducteur.

Route du Cor: Organisation du chantier de préparation de route.
Rendement moyen journalier obtenu: 1 800 m²



Chaussée terminée

Sablage

A — Camion avec sableur.
B — Tracteur tirant Broom-drag.
1 chauffeur.

Cylindrage.

C — Rouleau Tandem de 10 tonnes.
1 conducteur.

Répandage de l'enrobé.

D — Barbergreen.
1 conducteur, Chef de chantier.
1-2-3 Aides.

E — Camion à benne.
4 camions.
4 conducteurs.

Balayage.

F — Balai mécanique.

G — Tracteur.
1 conducteur.

Route du Cor: Organisation d'un chantier de revêtement en enrobé semi-dense.
Rendement journalier obtenu: 480 tonnes d'enrobé.

Le régalage et le compactage sont effectués par une poutre dameuse vibrante (1 200 vibrations-minute). Enfin, une barre lisseuse chauffée par un brûleur à mazout assure le surfaçage.

La largeur de la bande traitée est de 3,60 m au maximum. C'est la raison pour laquelle l'empierrement est préparé sur la même largeur. L'épaisseur du revêtement est commandée par deux vis latérales s'appuyant sur la chaussée déjà exécutée et faisant pivoter le châssis autour d'un axe solidaire des chenilles.

Ce réglage permet, en outre, de donner au revêtement le bombement souhaité.

— Le cylindrage : Cette opération se limite à deux passes, le compactage de l'enrobé étant pratiquement exécuté par le Barber-Greene ;

— Le sablage : Cette opération empêche l'arrachement, sous l'effet de la circulation, pendant la période d'évaporation des huiles ; le dosage est limité à 3 litres de sable 0/2 au mètre carré ;

— Le balayage au Broom-drag ; cet appareil est constitué par un châssis en bois sur lequel sont fixés des balais-brosses de piassava disposés de manière à provoquer, lors d'un déplacement longitudinal de l'ensemble des mouvements latéraux du sable. On obtient ainsi l'interpénétration du sable dans les ouvertures du tapis de tarmacadam. Le Broom-drag est remorqué par un camion.

— Enfin, ultérieurement, la confection d'une couche de scellement (scal-coat), par application, au mètre carré, de 800 grammes d'émulsion de bitume et de 5 litres de sable 0/2.

Il n'est pas prévu de couche d'accrochage (tack-coat), celle-ci n'étant pas absolument nécessaire. Le cas échéant, on appliquerait au mètre carré 1 kg de goudron liquide et 5 litres de sable 0/2.

2° *Rendement :*

Avec l'Amman : 15 tonnes de tarmacadam épandu à l'heure ;

Avec le Barber-Greene : 50 tonnes à l'heure.

Ce rendement peut être supérieur et atteindre 100 tonnes à l'heure, dès l'instant où l'on met en œuvre des tapis épais.

3° *Main-d'œuvre :*

1 Conducteur de Barber-Greene, Chef de chantier ;
5 conducteurs de camions ;
1 Cylindreur ;
3 Aides.
Soit, au total, 10 hommes.

Le Tableau 3 donne tous les éléments constitutifs du prix de revient.

Les prix, par article, se réfèrent à ceux obtenus lors de l'établissement des marchés de l'Exercice 1955.

Le mètre carré de route revient ainsi à 419 F (quatre cent dix-neuf francs). Au cas présent, nous avons obtenu un prix très sensible-

TABLEAU 3.

PRIX DE REVIENT D'UNE ROUTE EN TARMACADAM

Longueur : 1 000 m. — Largeur : 3,60 m.

Numéro des Articles	Désignation des travaux	Quantités	Prix unitaires m³	Prix unitaires m²	Prix unitaires Tonnes	Prix par Article
—	—	—	—	—	—	—
1	Fourniture de tout-venant 0-40	30	1 590	—	—	47 700
1 bis	Transport sur les accotements					
2	Fourniture de pierre cassée à l'anneau de 9	50	2 020	—	—	101 000
2 bis	Transport sur les accotements					
3	Piochage de l'empierrement		—	65	—	234 000
3 bis	Apport de matériaux complémentaires approvisionnés sur les accotements	3 600				
3 ter	Mise en forme					
3 quater	Cylindrage					
4	Fourniture de tarmacadam, suivant formule administration.	216	—	—	3 750	771 120
4 bis	Déchargement du tarmacadam au port-à-bateaux, et mise sur camion	216	—	—	100	21 600
4 ter	Transport du tarmacadam du port-à-bateaux sur chantier — d = 14 km	216	—	—	328	70 848
5	Reprise mécanique du tarmacadam aux tas (éventuellement)	216	—	—	750	162 000
5 bis	Et répandage au Barbergreen, cylindrage.					
6	Fourniture de sable 0-2	10	2 100	—	—	21 000
6 bis	Transport sur le chantier					
6 ter	Répandage					
6 quater	Cylindrage					
7	Fourniture d'émulsion de bitume à 55 %	3	—	—	11 600	34 800
7 bis	Transport de l'émulsion du centre de stockage au chantier.	3	—	—	600	1 800
7 ter	Répandage de l'émulsion en couche de scellement.	3	—	—	2 300	6 900
8	Fourniture de sable 0-2	18	2 100	—	—	37 800
8 bis	Transport sur chantier					
8 ter	Répandage					
8 quater	Cylindrage				TOTAL	1 510 568

Soit, au m² : 419 francs.

ment inférieur par suite d'une aide extérieure importante. Six (6) kilomètres de route ont été ainsi refaits.

La méthode employée présente les avantages suivants :

— Le profil obtenu est excellent ;

— La chaussée est souple et se prête aussi bien au passage des véhicules lourds que légers ;

— Les travaux d'établissement se font très rapidement avec de gros moyens mécaniques et un personnel réduit. On fait appel à des entreprises importantes, ce qui permet de faire jouer la concurrence au maximum :

— La durée d'un revêtement en enrobé atteint douze ans. Au bout de ce laps de temps, il suffira de revêtir la chaussée d'un tapis hydrocarboné pour la prolonger à nouveau ;

— L'entretien se limite à la réparation des dégradations accidentelles ;

— Le prix de revient, comparé à celui obtenu avec les méthodes classiques, est favorable. En effet, le rechargement d'un cailloutis — — pour employer l'expression imagée des veneurs — c'est-à-dire, en fait, d'un macadam à l'eau détérioré, revient actuellement à 650 F (six cent cinquante francs) le mètre carré, ce prix comprenant toutes les opérations de remise en état, en particulier la semi-pénétration et la confection, l'année suivante, d'un tapis hydrocarboné superficiel.

Une route ainsi faite ne résiste pas indéfiniment — malgré les précautions prises — à une circulation lourde, surtout dans les parties humides. Il faut prévoir, tous les six ans au maximum, un nouveau tapis qui revient à 70 F (soixante-dix francs) du mètre carré.

L'emploi d'un enrobé paraît donc fort intéressant.

Il est indiqué pour la réfection des routes forestières destinées à supporter un important trafic. Parmi celles-ci, nous comptons d'abord celles susceptibles d'être incorporées à bref délai dans la voirie publique.

Au surplus, l'enrobé peut s'employer pour une remise en état succincte des routes empierrées encore en état passable. Dans ce cas, on utilise environ de 15 (quinze) à 20 (vingt) kilos de tarmacadam par mètre carré de chaussée à réviser.

***

La situation des routes du massif de Compiègne se présente actuellement comme suit :

Chemins de terre, passables ou médiocres	700 km
Routes revêtues, entretenues par les Ponts et Chaussées pour le compte des Collectivités Publiques	30 km
Routes revêtues, entretenues par le Service Forestier	26 km
Routes empierrées (toutes en mauvais état)	30 km

Si l'on continue sur la lancée actuelle — ce qui implique que l'aide extérieure ne se ralentisse pas — on peut espérer que tout le réseau routier sera remis en état d'ici cinq ans.

L'organisation des entreprises de travaux routiers constitue un facteur favorable pour l'exécution d'une telle tâche. Ces affaires ont perdu tout caractère artisanal. L'ampleur des travaux s'offrant à leur activité est du reste considérable. Elles sont dotées de gros capitaux. Elles disposent d'un matériel constamment rénové, bien adapté et bien entretenu. Elles sont encadrées par des Ingénieurs et une maîtrise de qualité; le personnel d'exécution s'améliore sans cesse. Les « forts à bras » s'éliminent progressivement pour faire place à du personnel spécialisé. « Beaucoup de matériel, peu de personnel », telle pourrait être la devise de ces entreprises. Ce personnel auquel on confie du matériel complexe et onéreux, est bien payé; un conducteur de motorgrader connaissant bien son métier se fait plus de cent mille francs par mois. Le nombre des entreprises, malgré la concentration, permet de faire jouer la concurrence.

Dans ces conditions, la tâche de l'Ingénieur qui s'intéresse à l'avenir des routes des forêts confiées à sa gestion paraît très simplifiée. Il serait souhaitable qu'il en soit ainsi dans les autres domaines!....

H. MESNIL.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

I° TRAITÉS

D. BOUTET. — Etat actuel de la technique routière. Edition 51 (Science et Industrie, 6, rue Pierre-I[er] de Serbie, Paris).

Cdt FERREBEUF. — Cours de Communications. Titre I, Routes. Edition 51 (Ecole d'application du Génie).

G. ROGER, Ch. DIGUE. — Chaussées en sol stabilisé. Problème de l'Epaisseur des Chaussées (1951) (polycopié).

J. BOUTIN. — Cours de Routes Forestières. E.N.E.F. (polycopié).

II° BROCHURES ET CONFÉRENCES

F. PARFAIT. — Construction de chaussées en matériaux locaux de la Région de Rouen (Journées Techniques de la Route de Normandie, mai 1954).

SHELL FRANÇAISE. — Mode d'emploi du Shell Sap (Shell, 42, rue Washington, Paris).

SOCIÉTÉ MÉTALLURGIQUE DE NORMANDIE. — Tarmacadam de Laitier (S.M.N., Mondeville - Calvados).

GÉNIE DE L'AIR. — Analyses granulométriques (Laboratoires des Sols du Génie de l'Air).

W. GRIM. — Etudes géotechniques du tout-venant de La-Croix-Saint-Ouen (Laboratoires SOLFOR, 19, rue Alexis-Lepère, Montreuil-sous-Bois (Seine).

J. BOUTIN. — Evolution des Techniques de construction de Routes (Revue Forestière Français, septembre 1954).

G. ROGER. — Route en sol stabilisé (Revue Forestière Française, septembre 1954).